

**УДК 631.451**

*Г.Ю. Строкач, студент гр. ПГ-61, асистент Сапегін О.М.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **КУТОМІР НА ОСНОВІ МІКРОМЕХАНІЧНОГО ІНЕРЦІАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО МОДУЛЯ**

**Анотація.** В даній статі розглядається можливий варіант створення кутоміра на основі мікромеханічного датчика, що включає в себе блок акселерометрів та гіроскопів на основі плати Arduino у програмному середовищі Matlab.

**Ключові слова:** кутомір, мікромеханічний датчик, Arduino, Matlab.

### **ВСТУП**

Arduino являє собою електронну платформу, головною ідеєю якої є забезпечення легкості при використанні апаратного та програмного забезпечення. Тобто для використання цієї платформи не треба дуже глибоко вивчати принципи роботи мікроконтролерів та периферії для них, відкритість початкового коду (open source) дає можливість модифікації та створення різноманітних модифікацій та поліпшень. Так завдяки цьому існує велика кількість різноманітних бібліотек створених користувачам для подальшої оптимізації та покращення роботи користувачів. Через це стало можливим створення додатку для середовища Matlab – Matlab Support Package for Arduino Hardware, що дозволяє виконувати взаємодію з платами Arduino. В сам додаток вбудовано бібліотеки для роботи з послідовними інтерфейсами (“I2C”, “SPI”), серво-машинами (“Servo”), а також існують спеціальні функції для спрощення роботи з найпопулярнішими інерційними вимірювальними модулями (MPU6050, MPU9250, LSM9DS1) робота з якими забезпечується функціями, що мають назву модулям.[1]

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

В минулій статі авторів було успішно продемонстровано створення кутоміру на основі акселерометрів.[2] Проте, такий прилад мав один суттєвий недолік – при русі об’єкта, на якому встановлено прилад, акселерометри починають реагувати на прискорення об’єкту і виміряне значення кутів становиться хибним. Приклад таких похибок зображено на рисунку 1.

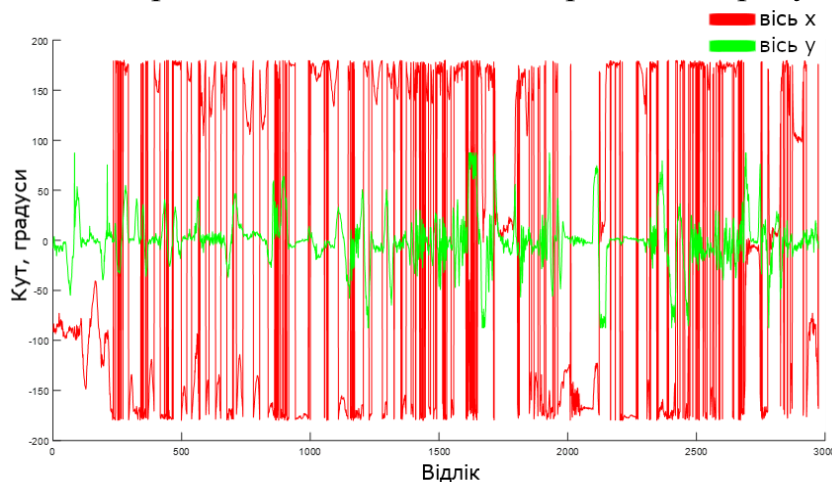


Рисунок 1. Покази кутоміру на основі акселерометрів на рухомому об’єкті

При тестуванні на рухомому транспорті імітувались нахили, подібні до тих, які може здійснювати автомобіль на бездоріжжі, шляхом невеликих нахилів самого модулю. Вісь  $X$  була направлена по колінеарно до напрямку руху транспорту, вісь  $Y$  – перпендикулярно до  $X$ . Як можна побачити з рисунку 1, вихідний кут осі  $X$  (червоний) зовсім не відображає значення нахилу. Через це становиться неможливим використання описуваного в статті приладу на рухомих основах. Тож для уникнення такої проблеми необхідно додатково використовувати гіроскопи і разом з акселерометрами створити безплатформну інерціальну навігаційну систему. А для мобільності системи створити для неї устаткування, що забезпечить автономність приладу – корпус, елементи живлення, показчики.

## КОНСТРУКЦІЯ КУТОМІРУ

Для реалізації кутоміра вибрано такі складові:

- вимірювальний модуль MPU6050;
- плата Arduino UNO;
- серво-машини HK15178
- акумулятори NCR18650B з кейсом та контролером заряду.

Підключення компонентів один до одного відбувається за схемою зображеною на рисунку . Для MPU6050 рекомендована напруга живлення 3,3 В, тому його на нього живлення подається з виходу на платі, а контакти для I2C

SDA SCL під'єднані до контактів SDA SCL на платі, також можливе під'єднання до контактів A4 та A5 відповідно. Для серво-машин необхідна напруга живлення в 5 В, яке подається з плати, контакти керування під'єднані до контактів із функцією ШІМ – 9 та 10. Живлення плати з акумуляторів під'єднано до контакту Vin та GND. Контакти контролеру заряду та акумуляторного кейсу з'єднані відповідно до їх полярності.

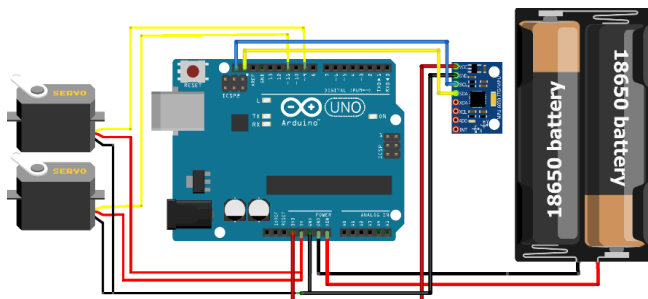


Рисунок 2. Схема підключення компонентів інклінометру до плати Arduino UNO

Для зручного використання приладу розроблено корпус приладу. Корпус складається з трьох окремих деталей: основи, передньої панелі.

На основі розташовуються та закріплюються елементи приладу. Для фіксації плати та кейсу акумуляторів передбачено отвори для гвинтів. Посередині основи утворено Г-образну стійку для кріплення вимірювального модуля на гвинтах. Також для уникнення скривлення встановлення плати, передбачено жолоб для полусфер припою знизу плати модуля. Для кращої фіксації передньої панелі корпусу створено жолоб попереду основи.

Не передній панелі зроблено отвори для встановлення та закріплення серво-машин. Самі серво-машини оточені кільцями що захищають показчики від зовнішніх пошкоджень та служать кріпленням для циферблату. Кріпляться до корпусу за допомогою гвинтів.

Кришка корпусу накриває основу та повторює силует передньої панелі. Заду передбачено виріз для доступу до контролеру заряду. Кріпляться до основи та передньої панелі гвинтами.

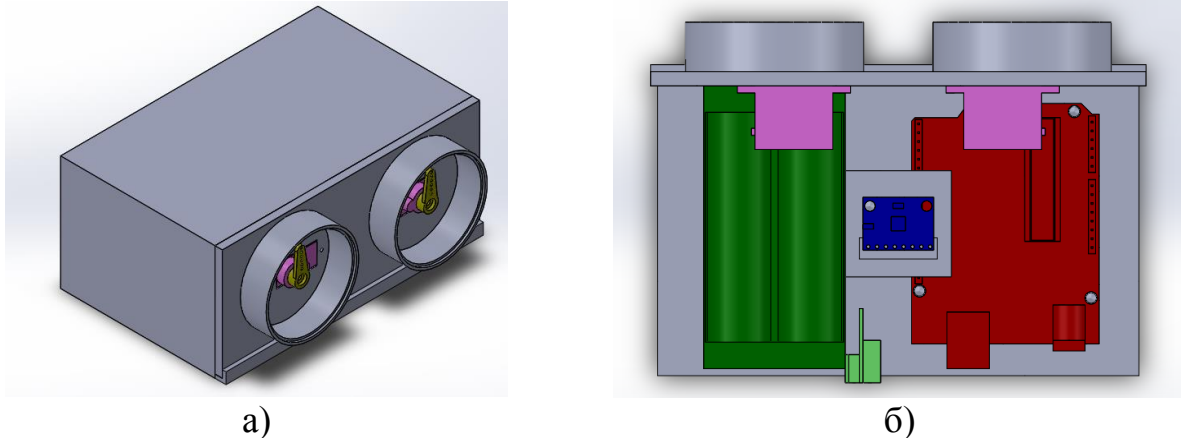


Рисунок 3 Трьох вимірний модель приладу: а) зовнішній вигляд приладу; б) розташування елементів в приладі

### КАЛІБРУВАННЯ СЕНСОРА

Для коректної роботи та точності показань приладу необхідно провести калібрування сенсора. Оскільки сенсор містить в собі блок акселерометрів та гіроскопів провести їх можна за допомогою методів тестових поворотів. [3] Даний метод описується в навчальному посібнику [3]. Калібрування акселерометрів виконується аналогічно до того, що виконувалось в попередній роботі [2].

Калібрування гіроскопів виконується обертанням датчика на поворотному столі з відомою кутовою швидкістю. Для підвищення точності каліброваних коефіцієнтів бажано записати показання гіроскопів на декількох кутових швидкостях. [3]

Калібровані матриці для блоку акселерометрів мають вигляд:

$$A = K^{-1}(U_a - U_{a0}), \quad (1)$$

а для блоку гіроскопів:

$$W = R^{-1}(U_\omega - U_{\omega0}), \quad (2)$$

де  $K$  - матриця масштабних коефіцієнтів;  $U_a$  - матриця сигналів;  $U_{a0}$  - матриця зміщення нулів для блоку акселерометрів і  $R$  - матриця масштабних коефіцієнтів;  $U_\omega$  - матриця сигналів;  $U_{\omega0}$  - матриця зміщення нулів для блоку гіроскопів. Для використаного датчика їх значення мають вигляд:

$$K = \begin{bmatrix} -0,02 & 1,01 & -0,05 \\ -0,99 & -0,02 & -0,01 \\ -0,01 & 0,06 & 1,01 \end{bmatrix}; \quad U_{a0} = \begin{bmatrix} -0,05 \\ 0,11 \\ 0,41 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

$$R = \begin{bmatrix} 58,159 & 0,836 & 3,051 \\ 0,516 & 57,198 & -0,619 \\ -3,931 & 0,357 & 57,038 \end{bmatrix}; \quad U_{\omega0} = \begin{bmatrix} 0,034 \\ 0,038 \\ 0,001 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

## АЛГОРИТМ КУТОМІРА

У програмному середовищі Matlab створюється об'єкт для роботи з платою Arduino, наприклад для Arduino Uno, що підключена до третього компорту ініціалізація має вигляд – `a=arduino('COM3','Uno')`. Надалі створюється об'єкт датчика `imu=mpu6050(a)`, а також об'єкти для серво-машин – `s1=servo(a,'D9')`, `s2=servo(a,'D10')`. [1]

Зчитуючи кутову швидкість з датчика використовуючи функцію `read(imu)`, можемо визначити матрицю напрямних косинусів із яких потім вирахувати кути відхилення самого кутоміру. Для цього сформувавши початкову матрицю напрямних косинусів використовуючи кути, обчислені з показань акселерометрів за аналогією того, як це було зроблено в роботі [2], та матрицю проєкцій абсолютної кутової швидкості вимірюваних гіроскопів утворюємо рівняння орієнтації Пуассона. Для обрахування змінення матриці направляючих косинусів рівняння Пуассона інтегрують, наприклад методом прямокутників. З отриманої матриці напрямних косинусів вираховуємо кути, які і показують відхилення. Вирахувані кути передаються на серво-машини, які відпрацьовують кут для зображення вихідного кута на шкалі приладу.

## ВИСНОВОК

Для використання кутоміру на рухомих об'єктах необхідно перейти від використання лише акселерометрів при визначенні кута нахилу об'єкту відносно площини горизонту. Для цього до приладу необхідно додати гіроскопи. Використовуючи акселерометри при початковій виставці можна визначити матрицю напрямних косинусів і надалі використовуючи рівняння орієнтації Пуассона та інтегрування методом прямокутників здійснювати обчислення кутів відхилення кутоміру за відображення яких відповідають серво-машини. Задля забезпечення автономності роботи приладу компоненти приладу оснащуються акумулятором та корпусом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] MATLAB Support Package for Arduino Hardware Documentation – Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/supportpkg/arduinoio/index.html>
- [2] Строкач Г.Ю., Сапегін О.М. Кутомір на основі акселерометру ADXL-335. *ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ*: збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 15-16 травня 2019 р. — К.: ПБФ, КПП ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. – 2019. – С 46-48
- [3] Мелешко В.В. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы : [Учебное пособие] / В.В. Мелешко, О.И. Нестеренко. –Кировоград: Полимед-Сервис, 2011. – 172с.

*Наук. Керівник – асистент Сапегін О.М.*